

## Fe-Co-B-C系二相アモルファス構造薄膜の高電気抵抗軟磁性と磁気記録ヘッドへの応用

著者	唐門 秀明
号	1901
発行年	1999
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/10708">http://hdl.handle.net/10097/10708</a>

氏 名	唐 門 秀 明
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 11 年 10 月 13 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学位規則第4条第2項
最 終 学 歴	March 19th, 1981 ポートランド州立大学大学院物理学修士課程修了
学 位 論 文 題 目	Fe-Co-B-C系二相アモルファス構造薄膜の高電気抵抗軟磁性と磁気記録ヘッドへの応用
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 藤森啓安 東北大学教授 井口 泰孝 東北大学教授 岡田益男 東北大学教授 島田 寛 東北大学助教授 高梨弘毅

## 論文内容要旨

### 第1章 序論

近年、VTR システムの小型化やデジタル記録の開発が進められ、さらなる高密度化に対する要求が強まり信号周波数の高周波化が計られている。これらの要求に答えるべくキーマニ技術に磁気ヘッド／媒体の高性能化がある。現在では、通常使用されているフェライトヘッドや酸化物媒体に代わり多くの機器にメタルヘッド(センダストコア等使用)と高 Hc メタル媒体の組み合わせで使用されている。しかし、高画質／高性能化の要求と共に通信、コンピュータ技術との融合化を目指すデジタル技術の到来で最短波長で 100 MHz という高周波を信号処理する必要が出てきている。このような高い周波数では現状のメタルヘッドはメタルコアの高周波損失のために本来の実力が発揮できず、又高周波特性が良好なフェライトヘッドでは低 Bs のために高密度記録に必要な高 Hc メタル媒体を十分に記録できないと云う本質的な問題に遭遇している。これらの問題を解決するために、高周波帯域で渦電流損失を抑制し、高周波における再生特性を向上させると同時に、記録にも優れた高 Bs を持つ新しいタイプのアモルファス軟磁性膜の創出とそれらを利用した磁気ヘッド用コアへの応用を目的とした研究がここで行なわれた。本研究では Fe, Co 等の金属と h-BN, B<sub>4</sub>C, SiO<sub>2</sub> 等の非金属チップを同時にスパッタすることにより、FeB系アモルファスに代表される通常の均一相アモルファス磁性材料とは異なり  $\sim 50 \text{ \AA}$  オーダーの微細な強磁性アモルファス金属相と非磁性アモルファス高  $\rho$  相の二つの相が分離／分散した構造を持ついわゆる不均一相アモルファスとも言える新規な膜を作製し、それらの微視的構造及び特定組成における高 Bs, 高  $\rho$  かつ軟磁性、及び、それらの膜の示す  $\mu$  の高周波特性を詳細に調べる。又、これらの高電気抵抗軟磁性アモルファスとも言える不均一相アモルファス膜とそれらを SiO<sub>2</sub> 膜で絶縁した積層膜の高周波損失への影響や制御について調べ、最後に、これらの積層コアを使用した磁気ヘッドを作製し、ヘッドの静特性(L 及び Q の f 特)やヘッド回転時の電磁変換特性 (CN 比) を取得して現行ヘッドとの比較の中で新規コアの有効性に関しての知見を述べる。

### 第2章 金属(Fe)と化合物(h-BN)の同時スパッタにより作製されたFe-B-N 系二相ナノ構造アモルファス薄膜の磁気及び電気特性

#### §2-1 実験方法

薄膜試料作製法は高周波マグネトロンスパッタ方式を用い、Fe, Co等金属ターゲット上に h-BN の非金属チップを並べる複合同時スパッタをとり、水冷状態の極板上に取り付けた石英基板上にスパッタし、膜作製を行なった。(次章以降で述べるFe-B-C系、Fe-Co-B-C系、Fe-Co-B-Si-O系の場合はそれぞれ Fe と

B<sub>4</sub>Cチップ、Fe<sub>5</sub>Co<sub>95</sub>とB<sub>4</sub>Cチップ、Fe<sub>40</sub>Co<sub>40</sub>B<sub>20</sub>とSiO<sub>2</sub>チップの組み合わせで同時スパッタを行った。) 又、多層膜作製にはSiO<sub>2</sub>ターゲットを同一チャンバー内に設置して合金ターゲットと交互にスパッタできる自動制御マグネトロンスパッタ装置を使用した。膜構造解析にはX線回折法を用い、微小領域のアモルファス構造解析にはTEM (acc.volt. 200 kV)を使用してIn-focus像及び電子線回折像のデータを取得した。薄膜試料の平均組成の決定にはEPMA, ESCA, Atomic Absorption, ICP等を用いて評価した。T<sub>c</sub>, T<sub>x</sub>はファラデー法を用いた磁気天秤を使用し、~10 kOeの磁場中でσ<sub>g</sub>の温度変化曲線から求め、B<sub>s</sub>, H<sub>c</sub>はVSMで測定した。薄膜試料の電気抵抗及びインピーダンス(1 kHz~10 MHz)測定にはそれぞれ四端子法とインピーダンスアナライザ(0.1 MHz~100 MHz)を使用した。又、磁歪定数は応力加重型のB-H Loop Tracingにより決定し、透磁率の周波数特性は高周波パーミアンスメータ(3 mOe AC)を用い、減磁場を無視しえる長短冊形状で測定した。作製した磁気ヘッドのインダクタンス及びQのf特測定にはネットワークアナライザを使用し、ヘッド回転時の電磁変換特性(CN比)には実験用回転ヘッド機(相対速度 51.2 m/s), スペクトラムアナライザ等を用いて、測定した。

## § 2-2 Fe-B-N系同時スパッタ薄膜のアモルファス構造と磁気及び電気特性

図1はFe<sub>66</sub>B<sub>24</sub>N<sub>10</sub>膜のTEM観察像である。図1(a),(b)はこの膜の明視野像と暗視野像を観察したものであるが、明視野像では~50 Å程度の微細物質の存在が確認でき、暗視野像では濃淡のはっきりしたマダラ模様の異なる二つの微細物質らしき物が観察されている。図1(c)はこれらの電子線回折像であるが、明らかにアモルファス状態を示すハローパターンを示している。明視野、暗視野両像において全くシャープに散乱する電子光らしきものが見られず、又、電子線回折のハローパターン化も考慮すると、二つの微細なアモルファス相が不規則に分離/分散していると言える。これまでの観察データからBNアモルファス膜の明視野像は明るい像として観察されることから、~50 Åサイズの暗い領域はFe-B richの金属アモルファス相で、明るい領域はB-N richの非金属アモルファス相であると推測できる。

関連するデータとしてFe-B-N系二相アモルファス薄膜と通常のFe-B系アモルファス薄膜のρ vs. Fe at.% の関係を比較のために図2に示した。このデータの注目すべきポイントはFe-B-N系においてFe量が減少するにつれてρ値がほぼ指数関数的曲線で増加すると云う結果で、86 at.% Feの組成ポイントで~1500 μΩcmの値から20 at.% Feで~3 x 10<sup>6</sup> μΩcmという急激な増加を示している。又、Fe-B-N系二相

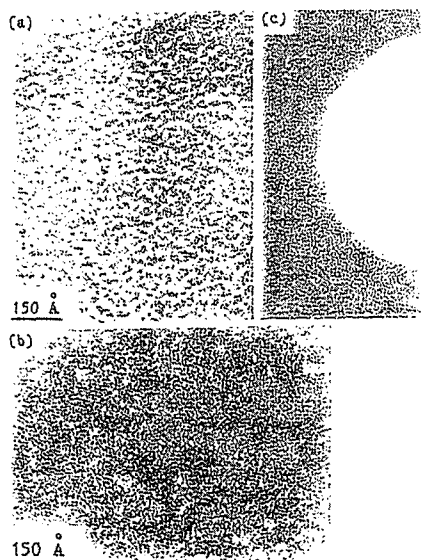


図1. Fe<sub>66</sub>B<sub>24</sub>N<sub>10</sub>アモルファス薄膜のTEM観察  
(加速電圧: 200 kV) (a) 明視野像、  
(b) 暗視野像、(c) 電子線回折パターン

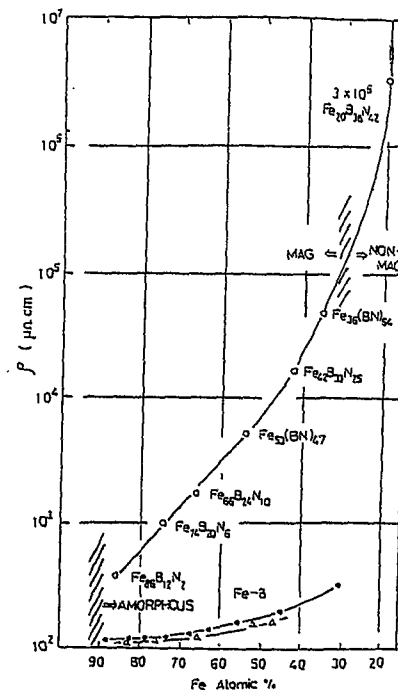


図2. 同時スパッタFe-B-N系アモルファス膜とFe-B系  
スパッタアモルファス膜における室温電気抵抗(ρ)  
のFe含有量依存性

又、Fe-B-N膜のB-H曲線は $\sim 50$  at.%以上の組成レンジでは $H_c=1$  Oe程度の軟磁性を示したが、角形比が良好ではなかった。 $\sim 50$  at.%以下のレンジでは $H_c$ が数Oe $\sim$ 数10 Oeの半硬質性を示し、これらの幾つか試料は $Br/B_s \sim 90\%$ の良好な角形比を現わし、しかも等方性であった。

図3 はFeとB<sub>4</sub>C のターゲット面積率及び Ar 圧の変数によるスパッタ条件で作製したFe-B-C系二相ナノ構造アモルファス薄膜の H<sub>c</sub>値をそれぞれプロットしたものである。図中で分かるように、特定のスパッタポイントで優れた軟磁気特性(図4)を示し、H<sub>c</sub>=0.3 Oeを得た。このポイントで B<sub>s</sub>=14.5 kG, ρ=400 μΩcmを示し、この薄膜の組成は Fe<sub>60</sub>B<sub>34</sub>C<sub>6</sub>であった。高電気抵抗軟磁性の出現は前章で述べた金属アモルファス相と非金属アモルファス相の微細な二相分散構造に起因すると思われるが、高B<sub>s</sub>高電気抵抗軟磁性は非金属アモルファス相で極度に分離されない状態の 60 at.% Fe 付近で現われている。又、この組成のT<sub>x</sub>とT<sub>c</sub>は共に750 Kという値を得たことから、高B<sub>s</sub>高電気抵抗軟磁性が出現するポイントとしてT<sub>x</sub>≒T<sub>c</sub>を満たすことが重要なファクターであると考えられる。尚、参考として、既存の軟磁性コアとB<sub>s</sub> vs. ρ の関係で比較したのが図5 である。既存のコアと比較して、高B<sub>s</sub>でありながら高ρ側にシフトしている性質は注目に値する。

A graph showing the Target Area Fraction (%) on the y-axis (ranging from 20 to 70) versus Argon Pressure  $P_{Ar}$  (Torr) on the x-axis (logarithmic scale, ranging from  $5 \times 10^{-3}$  to  $10^{-1}$ ). The graph displays several data series for different Fe/BC ratios, with curves and data points labeled with these ratios. The curves generally show an increase in Target Area Fraction with increasing Argon Pressure, with the rate of increase slowing down at higher pressures. The data points are represented by open circles.

Fe/BC Ratio	Argon Pressure $P_{Ar}$ (Torr)	Target Area Fraction (%)
40	$10^{-2}$	40
35	$1.5 \times 10^{-2}$	52
35	$2.5 \times 10^{-2}$	52
25	$2.5 \times 10^{-2}$	47
25	$3.5 \times 10^{-2}$	52
25	$4.5 \times 10^{-2}$	52
25	$5.5 \times 10^{-2}$	52
25	$6.5 \times 10^{-2}$	52
25	$7.5 \times 10^{-2}$	52
25	$8.5 \times 10^{-2}$	52
25	$9.5 \times 10^{-2}$	52
25	$10^{-1}$	52
25	$1.5 \times 10^{-2}$	42
25	$2.5 \times 10^{-2}$	42
25	$3.5 \times 10^{-2}$	42
25	$4.5 \times 10^{-2}$	42
25	$5.5 \times 10^{-2}$	42
25	$6.5 \times 10^{-2}$	42
25	$7.5 \times 10^{-2}$	42
25	$8.5 \times 10^{-2}$	42
25	$9.5 \times 10^{-2}$	42
25	$10^{-1}$	42
25	$1.5 \times 10^{-2}$	38
25	$2.5 \times 10^{-2}$	38
25	$3.5 \times 10^{-2}$	38
25	$4.5 \times 10^{-2}$	38
25	$5.5 \times 10^{-2}$	38
25	$6.5 \times 10^{-2}$	38
25	$7.5 \times 10^{-2}$	38
25	$8.5 \times 10^{-2}$	38
25	$9.5 \times 10^{-2}$	38
25	$10^{-1}$	38
25	$1.5 \times 10^{-2}$	34
25	$2.5 \times 10^{-2}$	34
25	$3.5 \times 10^{-2}$	34
25	$4.5 \times 10^{-2}$	34
25	$5.5 \times 10^{-2}$	34
25	$6.5 \times 10^{-2}$	34
25	$7.5 \times 10^{-2}$	34
25	$8.5 \times 10^{-2}$	34
25	$9.5 \times 10^{-2}$	34
25	$10^{-1}$	34
25	$1.5 \times 10^{-2}$	30
25	$2.5 \times 10^{-2}$	30
25	$3.5 \times 10^{-2}$	30
25	$4.5 \times 10^{-2}$	30
25	$5.5 \times 10^{-2}$	30
25	$6.5 \times 10^{-2}$	30
25	$7.5 \times 10^{-2}$	30
25	$8.5 \times 10^{-2}$	30
25	$9.5 \times 10^{-2}$	30
25	$10^{-1}$	30
25	$1.5 \times 10^{-2}$	26
25	$2.5 \times 10^{-2}$	26
25	$3.5 \times 10^{-2}$	26
25	$4.5 \times 10^{-2}$	26
25	$5.5 \times 10^{-2}$	26
25	$6.5 \times 10^{-2}$	26
25	$7.5 \times 10^{-2}$	26
25	$8.5 \times 10^{-2}$	26
25	$9.5 \times 10^{-2}$	26
25	$10^{-1}$	26
25	$1.5 \times 10^{-2}$	22
25	$2.5 \times 10^{-2}$	22
25	$3.5 \times 10^{-2}$	22
25	$4.5 \times 10^{-2}$	22
25	$5.5 \times 10^{-2}$	22
25	$6.5 \times 10^{-2}$	22
25	$7.5 \times 10^{-2}$	22
25	$8.5 \times 10^{-2}$	22
25	$9.5 \times 10^{-2}$	22
25	$10^{-1}$	22
25	$1.5 \times 10^{-2}$	18
25	$2.5 \times 10^{-2}$	18
25	$3.5 \times 10^{-2}$	18
25	$4.5 \times 10^{-2}$	18
25	$5.5 \times 10^{-2}$	18
25	$6.5 \times 10^{-2}$	18
25	$7.5 \times 10^{-2}$	18
25	$8.5 \times 10^{-2}$	18
25	$9.5 \times 10^{-2}$	18
25	$10^{-1}$	18
25	$1.5 \times 10^{-2}$	14
25	$2.5 \times 10^{-2}$	14
25	$3.5 \times 10^{-2}$	14
25	$4.5 \times 10^{-2}$	14
25	$5.5 \times 10^{-2}$	14
25	$6.5 \times 10^{-2}$	14
25	$7.5 \times 10^{-2}$	14
25	$8.5 \times 10^{-2}$	14
25	$9.5 \times 10^{-2}$	14
2		

- 128 -

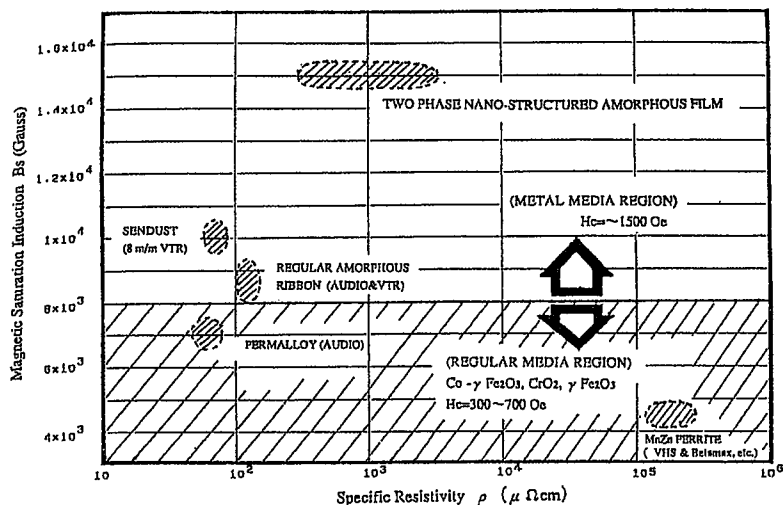


図5. ヘッドコアとして利用される軟磁性材料のBsとρの関係及び実用軟磁性コアとFe-B-C系二相ナノ構造アモルファス膜の比較。金属材料と酸化物媒体を記録するために必要なヘッドコアのBs値の境界値を3 kGと推定して、その境界線を図中に示した。

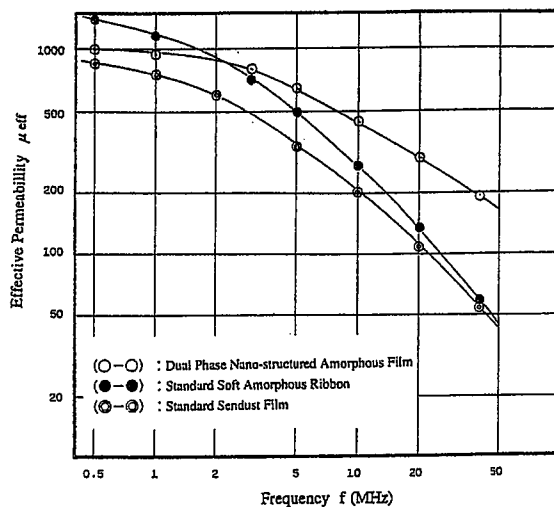


図6. 実効透磁率の高周波特性 (長短冊 長手軸方向に測定)  
○-○: Fe<sub>60</sub>B<sub>34</sub>C<sub>6</sub>二相ナノ構造アモルファス膜(Bs=14.5 kG, Hc=0.3 Oe, 27 μm厚)、回転磁場中熱処理(650 K, 15 min., 100 rpm, N<sub>2</sub>雰囲気中 6 kGの磁場印加)  
●-●: 標準タイプの Fe<sub>4.25</sub>Co<sub>70.25</sub>Si<sub>12.5</sub>B<sub>9</sub>Cr<sub>4</sub>アモルファスリボン (Bs=8.2 kG, Hc=0.02 Oe, 27 μm厚)  
○-○: 標準タイプのスパッタセグダスト膜(Bs=10 kG, Hc=0.25 Oe, 27 μm厚)、アニール処理(825 K, 1 hr, 真空中)

#### 第4章 Fe-Co-B-Si-O系二相ナノ構造アモルファス薄膜の諸性質

Fe-Co-B-Si-O系もFe-B-N系及びFe-B-Cと同様の膜構造が現われ、特定組成Fe<sub>31</sub>Co<sub>31</sub>B<sub>16</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>14</sub>の組成ポイントでBs=12.3 kG, Hc=0.3 Oe, ρ=450 μΩcmと云う優れた高Bs高電気抵抗軟磁性を示した。又、この膜のμ<sub>eff</sub>-f特性で、5 MHzを超える高周波帯域では実用上使用されているセグダスト膜やFeCoSiBCr系アモルファスリボンを大きく上回った (同膜厚~27 μm厚)。

#### 第5章 Fe-Co-B-C系二相ナノ構造アモルファス膜とSiO<sub>2</sub>膜の積層化とその多層膜の電気及び磁気特性

最も高Bsで軟磁性が優れていたFe-Co-B-C系二相ナノ構造アモルファスを利用して図7に示してあるような多層膜を作製した。特定の組成ポイントFe<sub>4</sub>Co<sub>59</sub>B<sub>32</sub>C<sub>5</sub>で26 μm厚の単層膜はBs=15 kG, Hc=0.1 Oe, ρ=200 μΩcmを示している。これらの多層膜(4.2 μm x 6厚)の磁気特性は単層膜と比較して全く劣化がなく、TxやTcも全く変化がなかった。又、Fe-B-C系と同様Tx≡Tcのポイントで上記の優れた高Bs高電気抵抗軟磁性が得られた。

図8に単層膜(26 μm厚)と多層膜(4.2 μm x 6厚)のμ<sub>eff</sub>-f特性の比較を示した。このデータが示す通り、多層膜のf特は単層膜に比較し、より良好なf特のフラット性の特性となった。図7のイラストレーションで分かる様に、膜堆積方向の磁性良導体領域をSiO<sub>2</sub>絶縁膜で分断、積層化することにより、それらの磁性領域を流れる渦電流による高周波損失を減少させていると考えられる。このデータから分かることは一層4 μm程度の積層化による金属磁性領域の分断でも損失低減にかなりの効果があることが分かった。

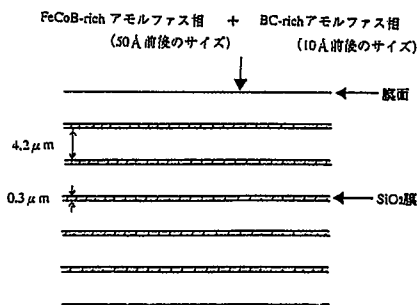


図7. Fe-Co-B-C系二相ナノ構造アモルファス膜とSiO<sub>2</sub>膜の積層化によって得られた多層膜の構造イラストレーション (サイズや形状等は図を分かりやすくするために単純化してある。)

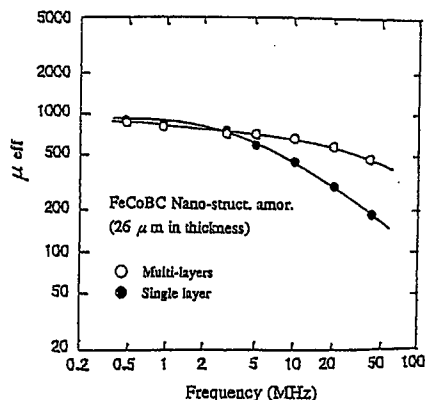
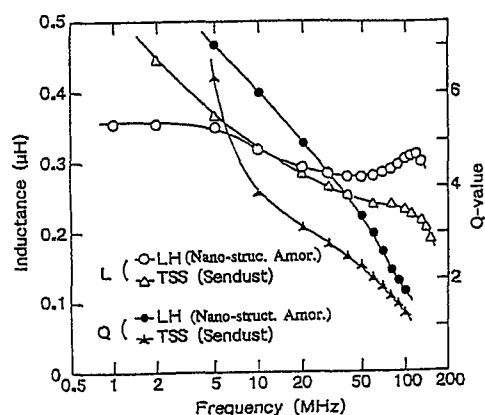


図8. Fe-Co-B-C系二相ナノ構造アモルファス単層膜(26 μm厚)と多層膜(4.2 μm x 6厚)の各周波数における実効透磁率データの比較

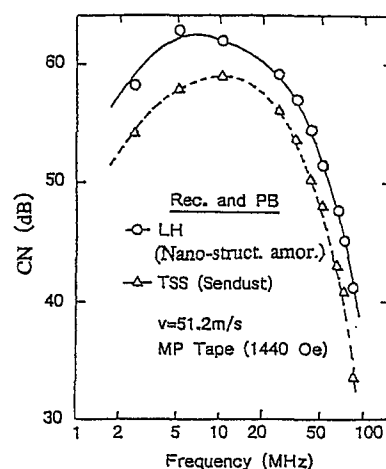
## 第6章 Fe-Co-B-C系二相ナノ構造アモルファス膜の積層型ヘッドへの応用

Fe-Co-B-C系は膜の平均組成が $\text{Fe}_{40}\text{Co}_{59}\text{B}_{32}\text{C}_5$ の組成ポイントで  $B_s=15 \text{ kG}$ ,  $H_c=0.1 \text{ Oe}$ ,  $\rho=200 \mu \Omega \text{ cm}$ , の優れた高 $B_s$ 高電気抵抗軟磁性を示したので、この新規な膜をコア材料としてヘッド作製に応用した。又、この膜を多層化し、ヘッド化した後、積層ヘッドとしての性能を調べた。図8で Fe-Co-B-C系二相ナノ構造アモルファス積層膜の  $\mu_{\text{eff}} - f$  特性の良好性を述べたので大体の予想はつくがヘッド形状のまま  $L, Q$  を測定し、それらの測定データを図9にプロットした。図9で分かるように $L$ の $f$ 特において、5~10 MHz付近で LH(積層ヘッド)が現行の TSS(メタルヘッド、センダストコア)を逆転する。高域ではTSSの $L$ が連続的に下降するにもかかわらず、LHの $f$ 特は顕著にフラットになり優れた $L-f$ 特性を示している。 $Q$ の実測値においてもほぼ同様の結果が得られた。これらは電磁変換時のCN比へ顕著な貢献を示唆するデータとも言える。参考までに、これらのヘッドの電磁変換時のCN比データを図10に示す。実験条件として、記録、再生とも同一ヘッドの場合の自己録再特性で、媒体は $H_c=1440 \text{ Oe}$ の高 $H_c$ メタル媒体を使用し、LH、TSSとも同ヘッドディメンションの条件で両者の比較データを取得した。図中のデータで分かるように、LHが全域に渡ってCN比で5~7dB TSSを上回っている。低域ではメタル媒体への記録に対して $B_s=15 \text{ kG}$ のLHが有利に働き、高域ではLHのコアの $\mu, L, Q$ の $f$ 特の良好性が有利に働き再生特性に顕著な効果を示したと言える。これらの結果を総合して言うことは、序論で述べた高周波における本質的な記録／再生の問題に関して高 $B_s$ 高電気抵抗軟磁性膜がこの問題を解決しうるものであったと思われる。



	$T_w(\mu \text{ m})$	Gap Length( $\mu \text{ m})$	Depth( $\mu \text{ m})$	$N(\text{turns})$
LH, TSS :	35	0.36	25	10

$\therefore$  Tw of LH =(Fe-Co-B-C系膜  $4.7 \mu \text{ m}$  +  $\text{SiO}_2$ 膜  $0.3 \mu \text{ m}$ )  $\times$  7層



	$T_w(\mu \text{ m})$	Gap Length( $\mu \text{ m})$	Depth( $\mu \text{ m})$
LH Head, TSS Head :	35	0.36	25

図9. ストレート溝型積層スパッタアモルファスヘッド(LH)の静特性  $L, Q$  測定とセンダストヘッド(TSS)との比較

図10. LH(Nano-struct. Amor.) HeadとTSS(Sendust) Headの自己録再特性の比較

## 第7章 結論

1) 高周波帯域での記録／再生パフォーマンスを最大限に引き出す高 $B_s$ ,高 $\rho$ ,高 $\mu$ の性質を合わせ持つ新規な高 $B_s$ 高電気抵抗軟磁性アモルファス膜が見つけた。

- これらはFe,Co等強磁性金属／合金とそれぞれh-BN, $\text{B}_4\text{C}$ , $\text{SiO}_2$ の高 $\rho$ 化合物チップの同時スパッタで作製された。
- これらの合成膜は金属アモルファス相と非金属アモルファス相が $\sim 50 \text{ \AA}$ 前後のサイズで微細に分散／分離構造を形成していることが分かり、従来型の均一相アモルファスとは異なり不均一相アモルファスとも言える新規なものである。

- これらの膜は特定の組成ポイントで優れた高Bs高電気抵抗軟磁性を示し、その組成ポイントでは  $T_x \cong T_c$  の値を得た。因みに、 $Fe_{60}B_{34}C_6$  のポイントでは  $B_s=14.5$  kG,  $H_c=0.3$  Oe,  $\rho=400$   $\mu\Omega$ cmであり、 $Fe_4Co_{59}B_{32}C_5$  のポイントで  $B_s=15$  kG,  $H_c=0.1$  Oe,  $\rho=200$   $\mu\Omega$ cmであった。又、 $Fe_{31}Co_{31}B_{16}Si_8O_{14}$  のポイントで  $B_s=12.3$  kG,  $H_c=0.3$  Oe,  $\rho=450$   $\mu\Omega$ cmを示した。

2) これらの高Bs高電気抵抗軟磁性膜の  $\mu_{eff}$ -f 特性は特に5 MHzを超える帯域でセンダスト膜やアモルファスリボンを大きく上回った。

- $Fe_4Co_{59}B_{32}C_5$  膜の  $\mu$  の高周波特性に関して、 $SiO_2$  膜で絶縁した一層4  $\mu$ m程度の6層の多層膜を作製し高周波損失の抑制効果を検討した結果、この膜の多層膜は同厚膜の単層膜と比較して  $\mu_{eff}$ (at 50 MHz)で $\sim 3$ 倍となり、さらなるf特のフラット性が見られた。

3)  $Fe_4Co_{59}B_{32}C_5$  膜の多層膜をコアとする二相ナノ構造アモルファス積層ヘッドはヘッド効率の目安となるL,Qのf特についても、 $\mu_{eff}$ -f 特性と同様、現行のセンダストヘッドを広域で大きく上回った。

4) 電磁変換系の測定で、記録／再生を同一ヘッドで行う自己録再特性の場合、現行のセンダストヘッドを全域に渡って3 $\sim$ 7dB上回った。

- これは  $Fe_4Co_{59}B_{32}C_5$  膜の持つ  $B_s=15$  kGという高Bs値が記録時に実力を発揮し、特に低域での高出力に貢献している。又、高域での高CN比の理由は高域での  $\mu$ , L, Qのf特の良好性が貢献している。

5) 高Bs高電気抵抗軟磁性膜をコアとして応用したこれらのヘッドは記録性能に劣るフェライトヘッド、又、再生特性で課題があるセンダストヘッドの現状の本質的問題を解決するものである。

## 論文審査の結果の要旨

高密度デジタル磁気記録のヘッド磁心には高飽和磁束密度 ( $B_s$ ) と高周波高透磁率 ( $\mu$ ) を有する磁性材料が必要であり、従来の合金あるいはフェライトを凌駕する新しい軟磁性材料の開発が求められている。著者は、その一つの方法として、強磁性金属と非金属を微細に混合することによって金属の強い磁化を活かしながら電気抵抗 ( $\rho$ ) を上げることを考え、実際に高 $B_s$ 、高 $\rho$ 、高 $\mu$ のFe、Co系金属・B、C系非金属二相アモルファス構造薄膜の作製に成功し、それらが高密度デジタル記録・再生用ヘッド磁心に適合することを明らかにした。本論文は、その研究成果を纏めたものであり、全編7章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、FeとBNをターゲットにした同時スパッタ法でFe-B-N系薄膜を作製し、得られた薄膜は、組成、スパッタ条件に依存するが、概ねFe高濃度Fe-Bアモルファス相とB-N主体のアモルファス相が約50 Å程度のナノスケールで粒状に分散した構造を有し、10kG程度の高 $B_s$ と $10^2$ から $10^4\mu\Omega\text{cm}$ の高 $\rho$ を兼ね備えた従来にない特性を示すことを見出している。そして、高 $B_s$ はFe-Bの金属強磁性相から発生し高 $\rho$ は非金属B-N相によって金属相が部分的に分断されることによって生ずることを、構造、磁性、電気抵抗の相互関係から現象論的に考察している。

第3章では、第2章に次いでFeと $B_4C$ を組み合わせたFe-B-C系について調べ、Fe-B-N系と同様に高 $B_s$ 、高 $\rho$ の二相アモルファス構造薄膜が得られることを確認している。次いで、組成とスパッタ条件の詳細な実験を行い、 $\text{Fe}_{60}\text{B}_{34}\text{C}_6$ 薄膜は、特に高い $B_s=14.5\text{kG}$ 、 $\rho=400\mu\Omega\text{cm}$ を有し且つ保磁力 ( $H_c$ ) が0.3Oeの軟磁性を示すこと、よって、その $\mu$ の100MHz帯域周波数特性は従来材料より優れていることを見出している。

第4章ならびに第5章では、さらに同様の実験をFe-Co-B-Si-O系およびFe-Co-B-C系に拡張して行い、両系においても二相アモルファス構造を確認し、 $\text{Fe}_{31}\text{Co}_{31}\text{B}_{16}\text{Si}_8\text{O}_{14}$ では $B_s=12.3\text{kG}$ 、 $\rho=450\mu\Omega\text{cm}$ 、 $H_c=0.3\text{Oe}$ 、また、 $\text{Fe}_4\text{Co}_{59}\text{B}_{32}\text{C}_5$ では $B_s=15\text{kG}$ 、 $\rho=200\mu\Omega\text{cm}$ 、 $H_c=0.1\text{Oe}$ のそれぞれに特徴のある性能を得ている。次いで、Fe-Co-B-C系薄膜を $\text{SiO}_2$ と積層した多層膜を作り、 $\mu$ の周波数特性が第3章で得られたものよりもさらに改善されることを見出している。

第6章では、第5章で得られた多層膜を磁心とした記録・再生ヘッドを作製し、このヘッドは従来のセンダストヘッドに比して100MHz帯域のCN比が約6dBも上回る良好な性能を示すことを確認している。

第7章は、結論である。

以上要するに本論文は、高磁束密度を有し且つ透磁率の100MHz帯域周波数特性に優れている新しい軟磁性材料として、Fe-Co-B-C系などの高電気抵抗金属・非金属二相アモルファス構造薄膜を開発し、それらが高密度デジタル磁気記録用の記録・再生ヘッド磁心に有用であることを実証したものであり、磁性材料学ならびに材料物性学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。